



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Sami Vanhala

# Puhaltimien vaihtaminen korjausrakentamisessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

28.1.2022

Tekijä Otsikko	Sami Vanhala Puhaltimien vaihtaminen korjausrakentamisessa
Sivumäärä Aika	32 sivua 28.1.2022
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	LVI-osastopäällikkö Marko Tulamo lehtori Pasi Partonen
<p>Insinöörityön aiheena oli laatia käytännönläheinen ohjeistus LVI-suunnittelijan tueksi ilmastointikoneiden puhaltimien vaihtamisesta. Työssä kuvataan puhaltimien vaihtamisen prosessi LVI-suunnittelijan näkökulmasta. Työn tavoitteena oli tehdä kirjallisuuskatsaus ja laatia käytännönläheinen ohjeistus LVI-suunnittelijan tueksi.</p> <p>Tietoa oli saatavilla ilmastointikoneiden puhaltimien vaihtamisesta EC-puhaltimiksi hajautevasti, minkä seurauksena insinöörityön lähteitä oli laajasti. Insinöörityön sisältö kasattiin perehtymällä alan kirjallisuuteen suomeksi sekä englanniksi. Osa kirjallisista lähteistä oli sähköisessä muodossa. Aineistoon sisällytettiin haastatteluja kokemusperäisistä tiedoista.</p> <p>Insinöörityön tuloksena syntyi käytännönläheinen ohjeistus ilmastointikoneiden oikosulkumootorilla varustettujen puhaltimien vaihtamisesta EC-puhaltimiksi. Ohjeistuksen avulla LVI-suunnittelija ymmärtää puhallinuusinnan prosessin ja osaa huomioida työssä esitetyt asiat käytännön suunnittelussa.</p>	
Avainsanat	puhaltimet, ilmanvaihdonsuunnittelu, suunnittelun ohjeistus

Author Title	Sami Vanhala Fan Replacement in Renovation
Number of Pages Date	32 pages 28.1.2022
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC, Design
Instructors	Marko Tulamo, Department Manager Pasi Partonen, Senior Lecturer
<p>The final year project aimed at creating practical instructions for HVAC designers for designing a fan replacement for an air handling unit. The process was described from the designer's point of view. The project included a literary review on the subject since information on the topic was largely scattered, practical instructions and a checklist.</p> <p>As information on changing fans to an air handling unit was widely available but extremely scattered, a large number of sources had to be used in the thesis. The literary review was compiled from Finnish and English literature in the field of building services engineering. Apart from written digital sources, information was also gathered by conducting interviews with experts in the field.</p> <p>The Bachelor's thesis resulted in instructions for designing the replacement of induction motor fans with EC-motor fans. Instructions aimed to aid HVAC designers in ensuring that all possible relevant issues in the design of fan replacement are considered. Thus, a designer is able to understand the process of renewing air handling units with new fans, taking into account various issues present in the design process.</p>	
Keywords	air handling unit fans, ventilation design, design guidance

# Sisällysluettelo

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Työnantajaorganisaatio	2
3	Puhallinteoria	2
3.1	Puhallinlait	2
3.2	Puhallin- ja laitoskäyrä	4
3.2.1	Puhallin- ja laitoskäyrä	4
3.2.2	Käyrien leikkauspisteet	5
4	Puhaltimet ilmanvaihtojärjestelmissä	6
4.1	Ilmanvaihtojärjestelmät	6
4.1.1	Vakioilmavirtajärjestelmä	6
4.1.2	Muuttuvilmavirtajärjestelmä	6
4.2	Puhaltimet	7
4.2.1	Radiaalipuhaltimet	8
4.2.2	Kammio puhaltimet	9
4.3	Moottoreiden jäähdytys	10
4.4	Puhaltimien energiankulutus	11
5	Puhaltimien vaihtamisen prosessi	12
5.1	Lähtötiedot	12
5.2	Kohdekäynti	13
5.2.1	LVI	13
5.2.2	Automaatio	16
5.3	Tutkimukset ja selvitykset	17
5.3.1	Ilmavirran- ja kokonaispaineentuotonmittaus	17
5.3.2	Sähkötehon mittaus	18
5.4	Puhaltimien vaihtamisen suunnittelutyö	19
5.4.1	Purkutyöt	19
5.4.2	Puhaltimen tai puhaltimien valinta	19
5.4.3	Puhallinkammion muutokset	21
5.4.4	Puhallinseinän rakenne	22
5.4.5	Automaatio- ja sähkösuunnittelu	23

5.5	LVIA-suunnitteluasiakirjat puhaltimen vaihtamisesta	26
5.5.1	LVIA-yleisasiakirjat	26
5.5.2	Ilmastointipiirustukset	27
5.5.3	Laiteluettelo, toimintakaavio ja -selostus	27
5.5.4	Urakkarajat	28
5.6	Projektin päätös	29
6	Pohdinta	29
	Lähteet	30

## Lyhenteet

CAV	Constant Air Volume System, vakioilmavirtajärjestelmä
CFD	Computational Fluid Dynamics, virtauslaskenta
EC	Electronically Commutated, elektronisesti kommutoitu
EU	Euroopan unioni
IO	tulo/lähtömoduuli
IU	ilmanvaihtourakoitsija
LVI	lämmitys, vesi ja ilmanvaihto
LVIA	lämmitys, vesi, ilmanvaihto ja automaatio
PM	Permanent magnet motor, kestmagneettimoottori
VAK	Valvonta-alakeskus
VAV	Variable Air Volume System, tarpeenmukainen ilmavirtajärjestelmä

## 1 Johdanto

Ilmastointikoneiden puhallinuusinnat edellyttävät LVI-suunnittelijalta normaalia laajempaa tehtäväkuvaa olemassa olevan järjestelmän tutkimusten ja tarkastusten sekä työmenetelmien ja -vaiheiden suunnittelun osalta. Projektin onnistunut toteuttaminen edellyttää myös aiemmin mainittujen tehtävien hallintaa varsinaisen puhallinuusinnan ohella. Insinööriyön aiheen taustalla on tarve ohjeistukselle koskien puhaltimien uusintoja. Tällä hetkellä kokonaisvaltaista ja käytännönläheistä ohjeistusta ei ole olemassa.

Insinööriyön tavoitteena on kasata puhallinuusintoja koskevat ohjeistukset yhteen dokumenttiin, sillä tietoa on saatavilla varsin hajautetusti englanniksi ja suomeksi. Tämän seurauksena tuli tarve laatia käytännönläheinen ohjeistus puhallinuusintoista LVI-suunnittelijan tueksi. Puhaltimien vaihdon kaikki vaiheet käydään läpi mahdollisimman kattavasti alusta loppuun saakka. Puhallinuusintojen suunnittelutyö vaatii laajaa ymmärrystä talotekniikan järjestelmien toiminnasta. Hyvään lopputulokseen pääsemiseksi LVI-suunnittelijan tulee osata huomioida kaikki yksityiskohdat puhallinuusintoista.

Insinööriyö keskittyy työvaiheeseen, jossa hihnavetoisten oikosulkumoottoreiden kammiopuhaltimien tilalle on päätetty uusia nykyaikaiset EC-puhaltimet. Projekti rajautuu LVI-suunnittelijan osaamisalueeseen, mutta projektiin sisältyy myös puhallinuusintojen kannalta olennaisia sähkötekniisiä sekä rakennusautomaatiotekniisiä asioita. Projektissa keskitytään kammiopuhaltimien uusintoihin ja varsinaiset puhallinvalinnat jätetään pois, sillä työ keskittyy EC-puhaltimiin.

Työn tutkimusaineisto koostui haastatteluista, laitevalmistajien ohjeistuksista sekä saatavilla olevasta kirjallisuudesta. Insinööriyöhön sisältyi osallistuminen projektityössä puhallinuusintojen suunnitteluun sekä laadunvarmistukseen. Työn lopputuotteena syntyi käytännönläheinen ohjeistus LVI-suunnittelijan tueksi. Insinööriyön toimeksiantajana toimi Sitowise Oy.

## 2 Työnantajaorganisaatio

Suunnittelutoimisto Sitowise Oy toimii insinööriyön toimeksiantajana. Sitowise Oy on rakennusalan suunnittelu ja konsultointitoimisto, jonka liikevaihto vuonna 2019 oli noin 124 miljoonaa euroa. Tänä päivänä noin 2000 ihmistä työllistävä Sitowise Oy syntyi maaliskuussa 2017, kun Wise Group Finland Oy ja Sito Oy fuusioituivat. Sitowise Oy:n asiakkaita ovat muun muassa suuret rakennuttajayritykset, kunnat ja kuntayhtymät. Sitowise listautui Helsingin pörssiin 2021 maaliskuussa.

Wise Groupin taustalla ovat vuonna 1986 perustettu LVI- ja automaatiotekniikkaan erikoistunut Kontermo Oy, 1984 perustettu rakennuttajapalveluihin erikoistunut Insinööri-toimisto Ylimäki & Tinkanen Oy ja vuonna 2005 perustettu projektinjohtamiseen erikoistunut Projectman Oy. Sito oli alun perin Suomalainen Insinööri-toimisto Oy, joka perustettiin vuonna 1976. Sito erikoistui infrastruktuuri-, liikenne-, maankäyttö- ja ympäristösuunnitteluun. [32]

## 3 Puhallinteoria

### 3.1 Puhallinlait

Puhallinlait ovat muuntoyhtälöitä, joita voidaan hyödyntää nykyisen puhaltimen uusien suoritusarvojen laskennassa, jos muutoksia tulee pyörimisnopeuteen, kuljetettavan kaasun tiheyteen tai puhaltimen halkaisijaan. Yksinkertaisesti esitettynä puhallinlakeja käytetään osoittamaan puhaltimen suorituskyvyn ja tehon suhdetta. Yhtälöt toimivat, mikäli kanavistossa ei tapahdu muutoksia, joten puhaltimen kuristustilan on oltava ennen ja jälkeen muutosten sama. Toinen yhtälöiden edellytys on, että kaasun kokoonpuristuvuutta ei tarvitse huomioida, eli laitoksen kuristustilan on pysyttävä muuttumattomana suoritusarvoja muunnettaessa. Tämä tarkoittaa, että laituskäyrän on oltava toisen asteen paraabelin muotoinen. Puhallinyhtälöitä voidaan hyödyntää esimerkiksi hihnavetoisten oikosulkumoottoreiden hihnapyörien muutoksissa laskemalla uudella hihnapyörällä saavutettava ilmavirta ja kierrosnopeus. [1, s. 37, 31.]

Esitettyjen puhallinlakien johdannaiskaavat perustuvat seuraaviin olettamuksiin [31]:

- Puhaltimen halkaisija ei muutu
- Juoksupyörän suunniteltu pyörimisnopeus ei ylity
- Laskennassa ei käsitellä erikoissovelluksia, joissa kierrosnopeus ylittää 3600 kierrosta minuutissa 60 Hz:n taajuudella.
- Puhaltimen juoksupyörän nopeudessa ei tapahdu äärimmäistä muutosta, jonka seurauksena ilman tiheyteen syntyisi merkittäviä eroja.

Ensimmäinen laki: Ilmamäärä [31]

$$q'v_1 = \left(\frac{n'}{n}\right) \times qv_1 \quad (1)$$

Toinen laki: Kokonaispaine [31]

$$p'_{tF} = \left(\frac{n'}{n}\right)^2 \times p_{tF} \quad (2)$$

Kolmas laki: Teho [31]

$$P'_R = \left(\frac{n'}{n}\right)^3 \times P_R \quad (3)$$

$qv_1$  on puhaltimen tilavuusvirta [ $m^3/s$ ]

$n$  on kierrosnopeus [1/s]

$p_{tF}$  on kokonaispaine [Pa]

$P_R$  on tehontarve [kW]

LVI-suunnittelijan näkökulmasta on oleellista ymmärtää, että puhaltimen kierrosnopeuden kaksinkertaistuessa tilavuusvirta kaksinkertaistuu, paineentuotto nelinkertaistuu ja tehontarve kahdeksankertaistuu.

## 3.2 Puhallin- ja laitoskäyrä

### 3.2.1 Puhallin- ja laitoskäyrä

Puhallinkäyrät (kuva 1) ovat yksinkertaisesti kuvaajia, jotka osoittavat puhaltimen suorituskyvyn. Kuvaajassa on tyypillisesti osoitettu X-akselilla ilmavirrantuotto ja Y-akselilla kokonaispaineentuotto. Puhallinkäyrästä luodaan puhaltimien testiolosuhteissa, jossa mitataan ilmavirtaa ja painetta. Testi voidaan suorittaa säätämällä säätöpellin avulla puhaltimen vastusta ja sähkömoottorin syöttöjännite pidetään vakiona koko testin ajan. [30]

Laitoskäyrä (kuva 1) osoittaa ilmastointilaitoksen ilmavirran tarvetta ja järjestelmässä vallitsevaa painehäviötä. Tyypillisessä ilmastointilaitoksessa virtaus on pyörteistä, jolloin kerta- ja kitkavastukset ovat suoraan verrannollisia nopeuden neliöön. Laitoksen kokonaisvastus noudattaa pääsääntöisesti samaa sääntöä, jolloin ilmavirran kasvaessa laitoksen painehäviö kasvaa neliöön.

$$p_v = k \times qv_1^2 \quad (9)$$

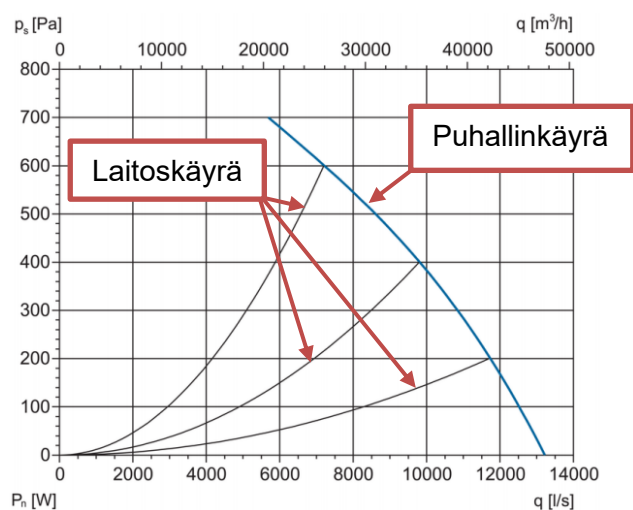
$p_v$  on paine [Pa]

$k$  on vakio

$qv_1$  on puhaltimen tilavuusvirta [ $m^3/s$ ]

Kaikki laitoskäyrät eivät kuitenkaan noudata tätä sääntöä. Poikkeuksena ovat mm. erilaiset teollisuusprosessit, kuten haihdutuslaitokset, vaahdotusprosessit ja märkäerottimet. Näissä tapauksissa kokonaisvastus voi koostua esimerkiksi vakio-osasta ja tilavuusvirran neliöstä riippuvasta osasta. [1, s. 46]

$$p_v = k_1 + k_2 \times qv_1^2 \quad (10)$$

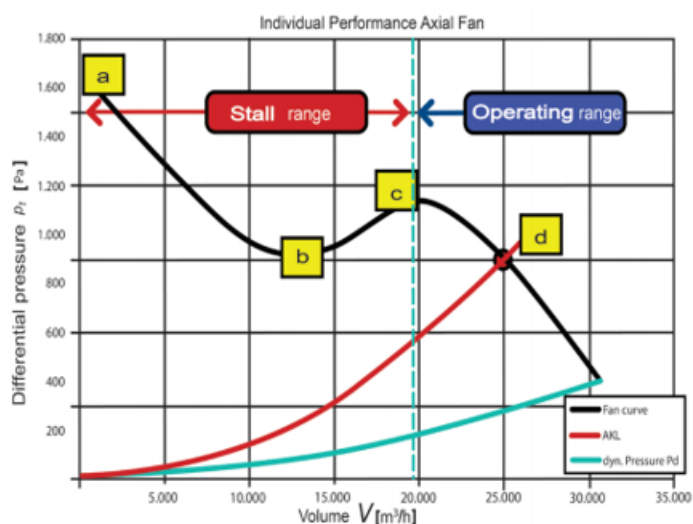


Kuva 1. Laitoskäyrä ja puhallinkäyrä.

Ebmpapst, kammiopuhaltimen tuote-esite, K3GA00-PV03-01 RadiPac Airfoil

### 3.2.2 Käyrien leikkauspisteet

Häiriöttömän yhteistoiminnan edellytyksenä on, että puhaltimen ja laitoksen välillä ei ole kuin yksi mahdollinen leikkauspiste. Jos puhallinkäyrässä on epävakaa kohta, toimintapiste ei saa olla liian lähellä sakkausrajaa. Sakkauspiste on tyypillinen aksiaalipuhaltimille. Keskipakoispuhaltimilla on myös epävakaa kohta voimakkaan kuristuksen alueella. (Kuva 2.)



Kuva 2. Kuvaajassa esitetty sakkauspiste sekä toiminta-alue [8].

Puhaltimen ollessa sakkausrajan vasemmalla puolella tilavuusvirta ei poikkea nollasta, vaikka puhallin on saavuttanut täyden pyörimisnopeuden. Puhaltimen käynnistys edellyttää, että puhaltimen painepuolelle on asennettu säädettävä venttiili, jonka kautta ilma voidaan ohjata ulos järjestelmästä. Käynnistyksen aikana venttiiliä avataan, kunnes tilavuusvirta kasvaa ohi 1. pisteen. Tällöin päästään alueelle, jossa puhaltimen paine ylittää laitoksen vastuksen. Kun puhallin on saatu toiminta-alueelle, venttiili voidaan sulkea ja puhallin asettuu toimintapisteeseen 2. Puhallinkäyrän ollessa lähellä lakea aiheuttaa pienikin hetkellinen vastuksen muutos laitoksessa tilavuusvirran huomattavan pienenemisen tai jopa putoamisen ulos toiminta-alueelta. [1, s. 46]

## 4 Puhaltimet ilmanvaihtojärjestelmissä

### 4.1 Ilmanvaihtojärjestelmät

#### 4.1.1 Vakioilmavirtajärjestelmä

Vakioilmavirtajärjestelmässä ylläpidetään jatkuvasti järjestelmään aseteltua ilmavirtaa. Vakioilmavirtajärjestelmän mitoitusperusteena ovat tilojen ja rakennuksien käytön mukaiset ilmavirrat, jotka perustuvat henkilömääriin tai lämpökuormiin. Ilmastointijärjestelmän tulee kuitenkin noudattaa rakennusajankohdan mukaisia asetuksia ja määräyksiä koskien minimi-ilmavirtoja. Järjestelmä soveltuu tiloihin ja rakennuksiin, joissa vallitsevat jatkuvasti tietyt olosuhteet, kuten liiketiloihin, kokoontumistiloihin, auloihin ja ruokaloihin. Vakioilmavirtajärjestelmästä käytetään myös nimitystä CAV-järjestelmä. [29, s. 31]

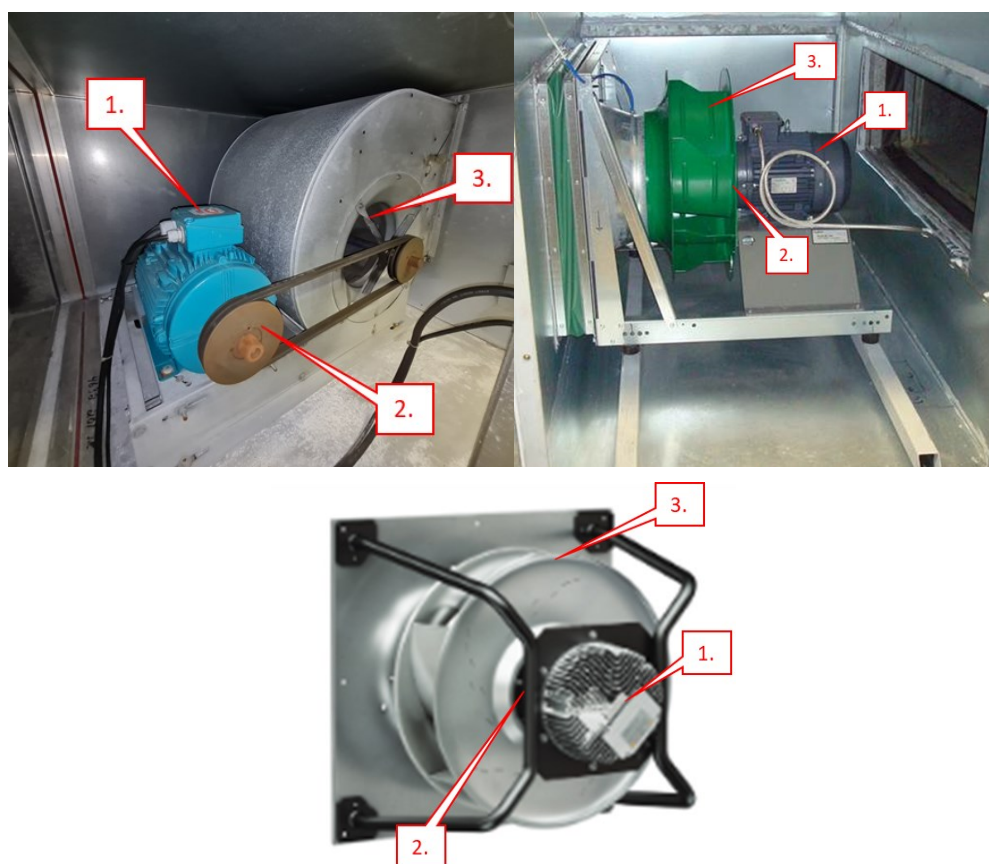
#### 4.1.2 Muuttuvailmavirtajärjestelmä

VAV-järjestelmä, eli muuttuvailmavirtajärjestelmä perustuu tarpeenmukaiseen ilmastointiin. Muuttuvailmavirtajärjestelmässä tulo- sekä poistoilmavirtaa säädetään muuttuvien tarpeiden mukaisesti, kuten lämpökuorman tai henkilökuormituksen vaihtelun seurauksena. Ilmastointikoneen puhalltimella ylläpidetään kanavistossa vakiopainetta säätämällä puhaltimen kierrosnopeutta taajuusmuuttajalla tai suoraan EC-puhalltimella. Säättö voidaan toteuttaa tilakohtaisesti tai vyöhykkeinä, jolloin ilmavirran ohjaus tapahtuu ma-

nuaalisesti, aikaohjelmalla tai antureilla. Tyypillisesti ilmavirtaa ohjataan mittaamalla hiidioksidipitoisuuksia, lämpötiloja tai liiketunnistimilla läsnäoloa. Muuttuvaimavirtajärjestelmä soveltuu tiloihin, joissa kuormitus on hyvin vaihtelevaa, mm. opetustiloihin, neuvottelutiloihin, sekä liiketiloihin. [29, s. 31]

## 4.2 Puhaltimet

Vanhojen ilmastointilaitosten puhaltimet on pääsääntöisesti varustettu hihnavetoisilla radiaalipuhaltimilla ja uudet 2000-luvun jälkeen rakennetut ilmastointilaitokset suoraikäyttöisillä kammiopuhaltimilla. Jatkuvasti käynnissä olevien ilmastointikoneiden puhaltimien tekninen käyttöikä on noin 20-30 vuotta, jonka seurauksena ennen 2000-lukua rakennettujen ilmastointikoneiden puhaltimet ovat uusimisen tarpeessa [7]. Kuvassa 3. on osoitettu puhaltimien komponentit, moottori (1), voimansiirto (2) ja siipipyörä (3).



Kuva 3. Vasemmalla ylhäällä hihnavetoinen radiaalipuhallin, oikealla ylhäällä suoraikäyttöinen PM-puhallin [17] ja alhaalla keskellä EC-puhallin [5]. Kuvissa 1 on moottori, 2 on voimansiirto ja 3 on siipipyörä.

#### 4.2.1 Radiaalipuhaltimet

Tyypillisesti vanhojen ilmastointilaitosten puhaltimet ovat kiilahihnakäyttöisiä radiaalipuhaltimia. Radiaalipuhaltimien moottoreina käytetään vaihtovirtamoottoreita, eli oikosulkumoottoreita. Moottoreille tuodaan virransyöttö suorasyöttönä tai vaihtoehtoisesti taajuusmuuttajaa hyödyntäen. Suorasyöttötoteutuksessa puhaltimelle tuodaan yksi tai useampi virtajohto. Yksinopeuspuhaltimilla on yksi käämitys, jolle tuodaan yksi virtajohto ja vastaavasti kaksinopeuspuhaltimilla on kaksi erillistä käämistä, jonka seurauksena molemmille käämityksille tuodaan omat virtajohdot. Moottori pyörittää akselia ja siirtää voiman hihnapyörien ja kiilahihnan avulla puhaltimen siipipyörälle. [13] Kiilahihnakäyttöinen puhallin vaatii säännöllistä ja ammattitaitoista huoltoa. Kiilahihnapuhaltimen etuna on siipipyörän ja moottorin vapaat pyörintänopeudet, minkä ansiosta suhdetta on mahdollista vaihdella välitystä muuttamalla. Tämän ansiosta puhaltimen suoritusarvoja voidaan säätää tarvittaessa [16]. Hihnapyörien halkaisijat ovat valittavissa noin 6 %:n portain. Tämän vuoksi kovinkaan tarkkaa säätöä ei voida suorittaa. Suurimmassa osassa 1980–1990-luvun rakennuksissa on eteenpäin kaartuvilla siivillä varustetut hihnakäyttöiset puhaltimet. Moottorit ovat tästä syystä 15–20 % suuremmat kuin taaksepäin kaartuvilla varustetuissa puhaltimissa. Tarpeettoman ylimitoituksen seurauksena puhaltimien kokonaisyötysuhde 50–65 %. Energiansäästöissä on valtava potentiaali. [22]

Ennen suorakäyttöpuhaltimien kehittämistä puhaltimien tarpeenmukainen kierrosnopeuksien säätö on toteutettu taajuusmuuttajia hyödyntäen. Joissakin tapauksissa ilmastoinnin tarpeenmukaistamisen yhteydessä hihnavetoisille puhaltimille on lisätty saneerauksien yhteydessä taajuusmuuttajat. Tällöin tulee huomioida, että ennestään kuluneiden käämistysten elinikä tulee romahtamaan taajuusmuuttajien pulssimaisesta käytöstä ja moottori saattaa hajota äkillisesti. Oikosulkumoottoreiden käämistyksen elinikään vaikuttaa moottoreille syötettävä taajuus ja sen tasaisuus. Tarpeenmukaisten ilmastointilaitosten puhaltimien taajuudet vaihtelevat riippuen ilmamäärän tarpeesta. Taajuusmuuttajien pulssimainen käyttö kuluttaa moottorin käämistystä huomattavasti enemmän verrattuna tasaiseen käyttöön. Taajuusmuuttajalisäykset vanhoille puhaltimille tulee tarkastella yhdessä laitevalmistajien kanssa, sillä kaikki oikosulkumoottorit eivät välttämättä sovellu taajuusmuuttajakäyttöön. [22, 23, 12, 20.]

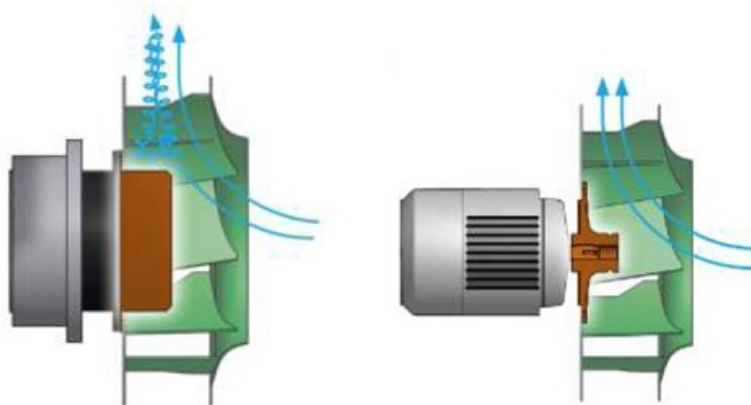
#### 4.2.2 Kammiopuhaltimet

Nykyaikaisten EC- sekä PM-kammiopuhaltimien voimansiirto perustuu suorakäyttöön. Suorakäytössä siipipyörä on kytketty suoraan moottorin akselille tai moottorin pyörivään ulkokehään. Pyörivää ulkokehällistä moottoria kutsutaan ulkoroottorimoottoriksi. EC-moottori on integroitu suoraan puhallinpyörän sisään ja PM-moottori on kytketty akselilla siipipyörään. Suorakäytön etuna ovat pienet voimansiirrolliset häviöt ja se, että puhallinkokonaisuudesta aiheutuva pölynmäärä on vähäistä. Siipipyörän ollessa kytkettynä suoraan moottorin akselille vältetään voimansiirron huoltokustannuksilta. Ilmastointikoneiden puhaltimissa toimintapiste säädetään moottorin pyörimisnopeuden säätämällä hyödyntämällä esimerkiksi EC-moottoria tai erillistä taajuusmuuttajaa. [12] Puhaltimien siipipyörät on tyypillisesti varustettu taaksepäin kaartuvien siivien, jolloin keskipakopuhallin saavuttaa parhaimman hyötysuhteen sekä pienemmän ominaisäänitehotason. [1, s. 40]

PM-moottorit kehitettiin korvaamaan oikosulkumoottoreilla varustetut puhaltimet. PM-moottori, eli kestopagneettimoottori on oikosulkumoottorinrunkoon ja käämitykseen perustuva kokonaisuus. Oikosulkumoottorista poiketen roottorin magnetointi tapahtuu kestopagneeteilla. Toimiakseen PM-moottori tarvitsee aina taajuusmuuttajan, jonka seurauksena ohituskäyttö ei ole mahdollista. Kriittisissä kohteissa puhaltimen toimintakyky taajuusmuuttajan vikatilanteessa voidaan varmistaa kahdella taajuusmuuttajalla. Kiinnitys puhallinpyörään hieman parempi kuin EC-moottorilla varustetussa puhaltimessa, jolloin siipipyörässä ei tapahdu ylimääräisiä häviöitä. [19, 22.] (Kuva 4.)

EC-puhaltimet on talotekniikan alalla uusi puhallinteknologia. Suomeksi lyhenne EC tarkoittaa elektronisesti kommutoitua, jolloin elektroninen piiri muuntaa vaihtovirran tasavirraksi. Elektroninen piiri ohjaa virheettömästi moottorin apuvirtaa oikeaan suuntaan, minkä ansiosta puhallin voi ohjata itse puhallinnopeutta säätämällä moottorin saamaa virtaa. EC-moottori on varustettu kiinteällä staattorilla, jossa on kiinteä käämitys. Roottori ja siipipyörään sijoitettujen kiinteiden kestopagneettien yhteisvaikutus indusoi puhaltimen pyörimisen. [18, 22, 28.] EC-moottorin etuna on tasainen ja hyvä hyötysuhde koko kierrosalueella, jolloin saavutetaan hyvä hyötysuhde pienilläkin ilmamäärillä. Puhallinseinällä saavutetaan myös hyvä toimintavarmuus vikatilanteissa, sillä muut puhaltimet toimivat, vaikka yksi puhallin sammuisi usean puhaltimen puhallinseinästä. Puhallin on pienikokoinen ja tekniikaltaan monimutkainen kokonaisuus, minkä seurauksena puhaltimen vikaantuessa se tulee uusia kokonaisuudessaan.

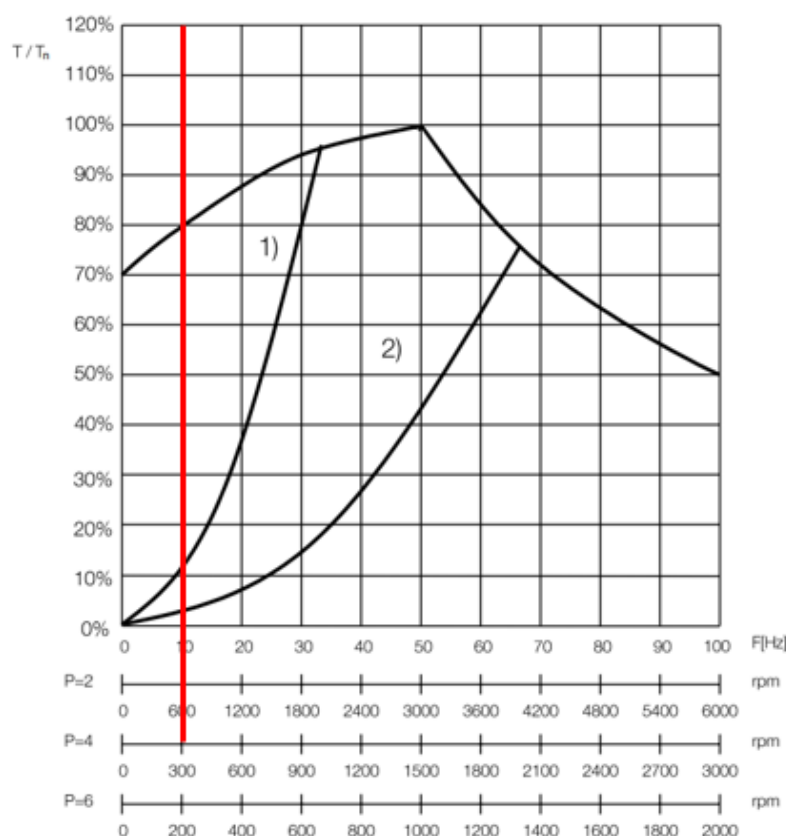
Oikosulku- ja PM-moottoreiden taajuusmuuttajien asennuksissa tulee kiinnittää huomiota oikeaoppiseen kaapelointiin ja maadoitukseen. Virheellisellä asennuksella syntyy virtapulsseja laakereihin, jonka seurauksena syntyy laakerin ulkorenkkaan vierintäpinnan vaurioituminen. Tätä kutsutaan laakerivirtaviaksi, ja se aiheuttaa laakereiden vaurioitumisen muutamassa kuukaudessa. Seurauksena on melu, kasvava virrankulutus, moottorin ylikuumeneminen ja moottorin hajoaminen. [22]



Kuva 4. Puhaltimien kiinnitykset puhallinpyörään. Vasemmalla EC-puhallin ja oikealla PM-puhallin [22].

### 4.3 Moottoreiden jäähdytys

Moottoreita voidaan ohjata teoriassa 0–100 Hz, mutta käytännössä minimitaajuutena käytetään laitevalmistajien toimesta 10 Hz. Liian pienellä minimitaajuudella moottorit saattavat ylikuumeta ja tämän seurauksena hajota. Minimitaajuudella 10 Hz saavutetaan riittävä jäähdytys moottorille. Ilmastointilaitosten puhaltimien moottoreiden osalta on oleellista tarkastella niiden napalukua. Moottorin napaluku vaikuttaa seuraavanlaisesti moottorien kierrosnopeuksiin: nimellinen kierrosnopeus 2-napaisella moottorilla 3 000 r/min, 4-napaisella 1 500 r/min, 6-napaisella 1 000 r/min ja 8-napaisella 750 r/min. Kuorimitettavuuskäyrien avulla voidaan tarkastella erinäpaisyksillä varustettujen moottoreiden minimitaajuuksien kierrosnopeuksia. [9, 12.] (Kuva 5.)



Kuva 5. Erinapaisten moottoreiden kuormitettavuuskäyrä puhallinsovelluksessa. Kuormitettavuuskäyrään on merkitty minimitaajuus ja minimikierto nopeus erinapaisuuksille punaisella viivalla. [9]

#### 4.4 Puhaltimien energiankulutus

Energiansäästö tavoittelu on kasvanut viime vuosien aikana merkittävästi, minkä seurauksena ilmastointikoneiden puhaltimia on alettu uusimaan kiihtyvässä määrin. Puhallinsovelluksissa energiansäästöä saadaan paremmalla hyötysuhteella toimivilla puhallinmoottoreilla, mutta energiansäästöä voidaan saavuttaa myös ilmanvaihdon tarpeenmuokautamisella. Hyödyt eivät kuitenkaan rajoitu pelkästään energiansäästöön, uusinoilla säästetään myös huoltokustannuksissa. Puhaltimien käydessä osateholla säästetään esimerkiksi suodattimien vaihdoissa. Suodatettava ilmamäärä on osateholla huomattavasti pienempi, jolloin suodattimen vaihtoväli kasvaa. [3]

EU-alueella rakennusten sähköenergiankulutuksesta kolmasosa kuluu ilmastointiin ja siitä suurin osa johtuu puhaltimista, kun tarkastellaan pelkkää sähkönotto- tehoa. Sähkön- kulutus voidaan jakaa osiin riippuen puhallintyyppistä [3]. Puhaltimien sähköhäviöt vaihtelevat puhallin tyyppistä riippuen seuraavanlaisesti: hihnakäyttöisten puhaltimien voimansiirron häviöt 3–8 % [15], taajuusmuuttajahäviöt 3–5 % ja oikosulkumoottoreiden sisäiset häviöt 35–55 % [1]. Toimintapisteessä suurien oikosulkumoottoreiden hyötysuhde on lähes yhtä hyvä kuin EC-moottoreiden, mutta ne on suunniteltu toimimaan tietyssä pisteessä. Oikosulkumoottorin hyötysuhde putoaa huomattavasti mitoituspisteen molemmin puolin, kun taas EC-moottorilla varustettujen puhaltimien hyötysuhdekäyrä on tasainen ja sen hyötysuhde vaihtelee vähän puhaltimen nopeusalueella. EC-moottorilla varustetun puhaltimen energiatehokkuus on 30–70 % parempi verrattuna hihnaveitoiseen oikosulkumoottoriin. [14]

## 5 Puhaltimien vaihtamisen prosessi

### 5.1 Lähtötiedot

Puhaltimien vaihtamisen ensimmäinen vaihe on pyytää tilaajalta kohteen ajantasaiset suunnitelmat, kuten

- arkkitehtipohjat
- konekortit
- laiteluettelot
- toimintakaaviot
- LVI-suunnitelmat.

Suunnitelmien avulla LVI-suunnittelija perehtyy rakennuksen järjestelmiin ja suunnittelu- periaatteisiin. Tärkeää on selvittää rakennuksen historiatiedot, eli ovatko tilojen käyttö- tarkoitukset muuttuneet rakennuksen eliniän aikana. Muuttuneiden tilojen seurauksena on saatettu tehdä ilmastointijärjestelmän kanavistoon rakenteellisia- tai ilmamäärämuu- toksia, jolloin puhaltimien suoritusarvot eivät vastaa alkuperäisiä suunnittelu- arvoja. Tarvittaessa kohteeseen tulee suorittaa ajantasasuunnitelmista kokonaisilmavirtojen las- kenta. Kanavistorakenteen muutokset muuttavat ilmanvaihtojärjestelmän kokonaispai-

nehäviötä, jolloin puhaltimien paineentuohtoa on jouduttu muuttamaan ilmavirtojen saattamiseksi. Historiatietojen lisäksi tilaajalta tulee tiedustella, mihin varausilmavirtaan on syytä varautua.

Kohteen tuntemus ja käyttötarkoituksen hahmottaminen on olennaista puhaltimen vaihtamisen suunnittelussa. Suunnitteluvaiheessa tulee huomioida käyttökato, ja siitä tulee laatia käyttökatosuunnitelma ja käydä se läpi hankkeen tilaajan sekä mahdollisen käyttäjän kanssa. Käyttökatosuunnitelma sisältää väliaikaisjärjestelyt, työmenetelmät, puhallinvalinnat sekä ajankohta työnsuorittamiselle. Mikäli mahdollista, työ tulee suorittaa käyttöajan ulkopuolella, kuten jos kohteena on koulurakennus, työn suorittaminen kannattaa ajoittaa kesälomille.

Kriittisten kohteiden puhallinuusinnat edellyttävät tarkkaa suunnittelutyötä. Muun muassa laboratoriot ja museot ovat sisäilmaolosuhteiltaan kriittisiä ja vaativat katkotonta ilmanvaihtoa. Väliaikaisjärjestelyt saattavat sisältää materiaalin tai henkilöiden väistötilojen järjestämisen. Tällöin suunnitelmat tulee laatia siten, että käyttökatoista saadaan mahdollisimman lyhyt ja työ suoritetaan sellaisena vuodenaikana, kun olosuhteiden hallinnalle on pienin tarve. Tarvittaessa ilmaolosuhteiden ylläpito tulee suorittaa väliaikaisilla menetelmillä kohteesta riippuen. Tämän lisäksi työvaiheet valmistellaan mahdollisimman hyvin, jotta ilmastointikoneen pysäyttämishetkellä puhaltimet ja sähköistykset on mahdollista tehdä pikaisesti. Sähköistykset voidaan toteuttaa muun muassa pikaliittimillä.

## 5.2 Kohdekäynti

### 5.2.1 LVI

Lähtötietoihin tutustumisen jälkeen kohteeseen tulee suorittaa kohdekäynti. Kohdekäynnillä dokumentoidaan puhaltimien uusimisen suunnittelun kannalta oleelliset tiedot, kuten

- puhallinkammioiden dimensiot
- työskentelytilat ja haalausreitit
- ovien ja luukkujen tiivisteet ja lukitukset

- puhaltimien suoritusarvot
- kammiopaineet
- patterien suoritusarvot
- suodattimet
- lämmöntalteenottolaitteisto
- pumpput ja venttiilit.

Ilmastointikoneiden puhaltimien suoritusarvot selvitetään ilmastointikoneen laitekilvistä ja varmistetaan grafiikalta tai paikallisista mittauksista, että suunnitelmien mukaisiin ilmamääriin päästään nykyisen puhaltimen suoritusarvoilla. Vanhojen ilmastointilaitosten paikalliset mittaukset ovat kuitenkin harvinaisia ja vielä harvemmin luotettavia. Tällöin mittaukset voidaan tehdä ilmanvaihtourakoitsijan toimesta. Puhaltimien moottorit, kaapeloinnit sekä ryhmäkeskus valokuvataan sähkösuunnittelijaa varten. Puhallinkammioiden dimensiot mitataan, jotta puhallinkammioon voidaan valita sopiva puhallin tai puhaltimet. Joissakin tapauksessa dimensiot on mahdollista selvittää laitevalmistajalta, mikäli ilmastointikoneita ei voida sammuttaa hetkellisesti. Syinä voi olla kriittiset paine- sekä ilmaolosuhteet, kuten laboratorioissa. Huomioitavaa on, että laitevalmistajilla ei välttämättä ole kattavaa tilaushistorian dokumentointia pitkältä aikaväliltä.

Kohdekäynnillä tulee huomioida lämmitys- ja jäähdytyspattereiden pumpput, patterit ja venttiilit. Puhaltimien varaustehoja suunniteltaessa ilmastointikoneen muiden komponenttien kapasiteettien tulee olla selvillä. Ilmastointikoneen muissa komponenteissa ei välttämättä ole lisäkapasiteettimahdollisuutta edes pienillä muutoksilla toteutettuna, kuten venttiilimuutoksilla. Tällöin puhaltimen varaustehoja ei voi hyödyntää. Tilaajan edellyttäessä tietyn varaustehon saavuttamista on tarkasteltava, voiko kyseisellä moduulirakenteisella ilmastointikoneella saavuttaa suoritusarvoja uusimalla muitakin komponentteja. Tämä ei kuitenkaan ole aina mahdollista, jolloin koko ilmastointikone tulee uusiksi ja pelkän puhaltimen uusintaa ei kannata suorittaa. [24]

Ilmastointikoneiden kammiopaineet tarkastetaan, sillä jos kohteen kammiopaineet ovat huomattavan korkeita ilmastointijärjestelmän kanavisto voi vaatia toimenpiteitä. Syinä

korkeisiin kammiopaineisiin voivat olla muun muassa ulospuhallushajottajat, liian pienet kanavistot tai palkkien alitukset. Kanaviston tiivistämiselle on tarvetta, mikäli puhaltimen tuottama ilmavirta on huomattavasti suurempi kuin palvelualueille päätyvä. Suuri painehäviö tarkoittaa suurta energiakulutusta. Sähköenergiankulutus on suoraan verrannollinen tehoon. Puhallinlakeja tarkastelemalla huomataan, että pyörimisnopeuden puolittuessa sähkötehontarve putoaa kahdeksasosaan. Tämän seurauksena järjestelmän painehäviöt tulee saada pieneksi. [23, 22.]

Kohdekäynnillä tulee huomioida ilmastointikonehuoneen yleisilme. Ilmastointikonehuoneessa tulee olla riittävästi tilaa työskennellä, sekä katselmoida puhaltimien haalausreitit valmiiksi. Usein ilmastointikonehuoneet ovat tiiviitä ja ahtaita, jolloin työn suorittaminen voi edellyttää työtilan järjestämistä erinäisten purkutöiden muodossa. Ilmanvaihtojärjestelmän yleiskunnon tarkastus, kuten raitisilmakammiot, osien tiivisteet ja lukitukset sekä puhallinkammioiden kunto. Vanhoissa rakennuksissa ilmanvaihtokammiot ja ilmastointikoneen äänenvaimentimet on saatettu äänieristää terveydelle haitallisella materiaalilla, kuten mineraalivillalla. (kuva 6.) Mineraalivillasta irtoaa terveydelle haitallisia kuituja, jonka seurauksena kuituja sisältävät villat pitää poistaa tai vaihtoehtoisesti korvata dacron-äänenvaimennusmateriaalilla, äänieristeiden muutokset vaikuttavat ilmastointikoneen äänitasoon. Ilmastointikoneelle tulee tehdä vaipan tiiveyden arviointi testaamalla tai silmäämääräisesti. Mikäli lukitukset ja tiivistykset ovat huonot, ilmastointikone vuotaa paineita ovien ja koneosien välistä. Pahimmassa tapauksessa ovien lukitukset voivat pettää kokonaan.



Kuva 6. Ilmastointikoneen villoitettu puhallinkammio ja puhallin [17].

### 5.2.2 Automaatio

Puhallinuusinnat eivät rajoitu pelkästään LVI-suunnittelijan osaamisalueeseen. LVI-suunnittelijan lisäksi kohdekäynnille osallistuu RAU-suunnittelija, joka selvittää automaation suunnittelua varten seuraavat asiat:

- ilmastointikoneen ohjaukset
- valvonta-alakeskuksen IO-pisteet
- rakennusautomaatiojärjestelmän ikä
- valvonta-alakeskuksen laajennettavuus
- ryhmäkeskuksen syötöt ja lähdöt
- nykyiset kaapeloinnit
- puhaltimen mittaukset

Puhaltimen ohjaustapa selviää pisteluettelosta, toimintakaaviosta ja ryhmäkeskuksen syötöistä sekä lähdöistä. Puhallinuusinnassa ryhmäkeskuksesta tarvitaan tilaa useammalle syötölle ja ohjaukselle, jos EC-puhallinseinä toteutetaan ilman ohjauskeskusta. Yleensä EC-puhallinseinille asennetaan ohjauskeskus, johon tulee yksi syöttö ja ohjaus.

Usein ilmastointikoneeseen halutaan lisätä mittauksia puhallinuusinnan yhteydessä. Mittauksien lisäyksessä on olennaista selvittää, onko valvonta-alakeskuksessa tilaa lisätä IO-pisteitä ja onko järjestelmään saatavissa varaosia. Valvonta-alakeskuksissa (kuva 7.) ei välttämättä ole tilaa, ja tällöin vaihtoehtoisiksi tulee IO-moduulien laajentaminen VAK-kotelon ulkopuolelle tai uuden VAK-kotelon hankinta. Rakennusautomaatio voi olla kokonaan uusimisen tarpeessa, koska rakennusautomaatio on yhtä vanhaa kuin puhallin. Rakennusautomaation uusiminen tarkoittaa kaikkien I/O-pisteiden ja ohjelmiston uusimista. Nykyisen ilmastointikoneen mittaukset on mahdollista selvittää valvonta-alakeskuksen pisteluettelosta.



Kuva 7. Valvonta-alakeskus [17].

### 5.3 Tutkimukset ja selvitykset

#### 5.3.1 Ilmavirran- ja kokonaispaineentuotonmittaus

Ilmastointikoneesta mitataan seuraavat tiedot ennen puhallinvaihdon suorittamista:

- kokonaisilmavirrat
- puhaltimen staattinen paine
- puhaltimen paine-ero
- ilmastointikoneen painehäviö

Mittauksilla varmistetaan puhaltimen tuottama ilmavirta ja kokonaispaineentuotto, jonka jälkeen suunnitelmat voidaan laatia. Ennen mittauksien suorittamista tulee varmistaa,

että puhaltimet käyvät normaalissa käyntitilanteessa. Kokonaisilmavirrat mitataan ilmastointikoneesta lähtevästä rungosta. Mittaukset tulee suorittaa suoralta kanavaosuudelta riittäväällä suojaetäisyydellä muuntoyhteistä ja suunnanmuutoksista, jotta ilmavirta on taasaantunut. Puhaltimilta mitataan staattinen paine puhaltimen jälkeen puhallinkammiosta kertamittauksella ja puhaltimen yli mitataan paine-ero. Ilmastointikoneen painehäviö selvitetään mittaamalla paine-ero koko koneen ylitse siten, että kaikki konekomponentit sijaitsevat mittausten välissä. Mittauksella selvitetään ilmastointikoneesta aiheutuva painehäviö.

### 5.3.2 Sähkötehon mittaaminen

Ilmavirran ja kokonaispaineenmittauksien yhteydessä on kannattavaa mitata puhaltimien sähkönottoteho ennen ja jälkeen muutosten. Sähkönottotehon perusteella voidaan todentaa tarvittaessa tilaajalle saavutettu energiansäästöhyöty. Puhaltimien sähkönottotehot mitataan ryhmäkeskuksesta. Pihtimittareilla saadaan moottorikaapelista puhaltimelle menevä virta. (Kuva 8.) Tarkan mittaustuloksen saamiseksi mittalaite tulee olla varustettu virran ja jännitteen samanaikaisesta mittauksesta sekä sähkötehon laskentaominaisuuksilla. Sähköteho on mahdollista selvittää perinteisesti, jolloin pihtimittareilla mitataan vaiheiden virrat erikseen ja yhtälön 14 avulla saadaan laskettua moottorin sähköverkosta ottama teho. Perinteinen mittaustapa ei ole suositeltavaa, sillä mittaustulokset voivat olla hyvin virheellisiä, kun mitataan pelkkää virtaa eikä huomioida todellisia jännitteitä ja vaihekulmia  $\cos \phi$ . Perinteisellä mittaustavalla ei voi mitata taajuusmuuttajilla varustettuja moottoreita, sillä taajuusmuuttaja aiheuttaa poikkeamia sähkövirran siniaaltoon, vaikka mittaaminen keskuksen ja taajuusmuuttajan välistä. Mittareiden tulee olla varustettu true-RMS-tekniikalla, joka huomioi sähkövirran siniaallon poikkeamat. Tällä tekniikalla varustettu mittalaite mittaa virran yhdestä vaiheesta kerrallaan, mutta huomioi jännitteen ja vaihekulman kaikissa vaiheissa. Kaikki vaiheet mitataan yksitellen ja tulokseksi saadaan mittausten keskiarvo. Vaiheet on mahdollista mitata myös samanaikaisesti oikeanlaisella laitteistolla. Joissakin tapauksissa taajuusmuuttajalta voidaan lukea suoraan moottorin sähköverkosta ottama teho. [2, 22.]

$$P_{moottori} = \sqrt{3} \times 400V \times A_{mitattu\ keskiarvo} \times \cos \phi \quad (14)$$



Kuva 8. Pihtimittareilla saadaan mitattua puhaltimen sähkönottoteho [3].

## 5.4 Puhaltimien vaihtamisen suunnittelutyö

### 5.4.1 Purkutyöt

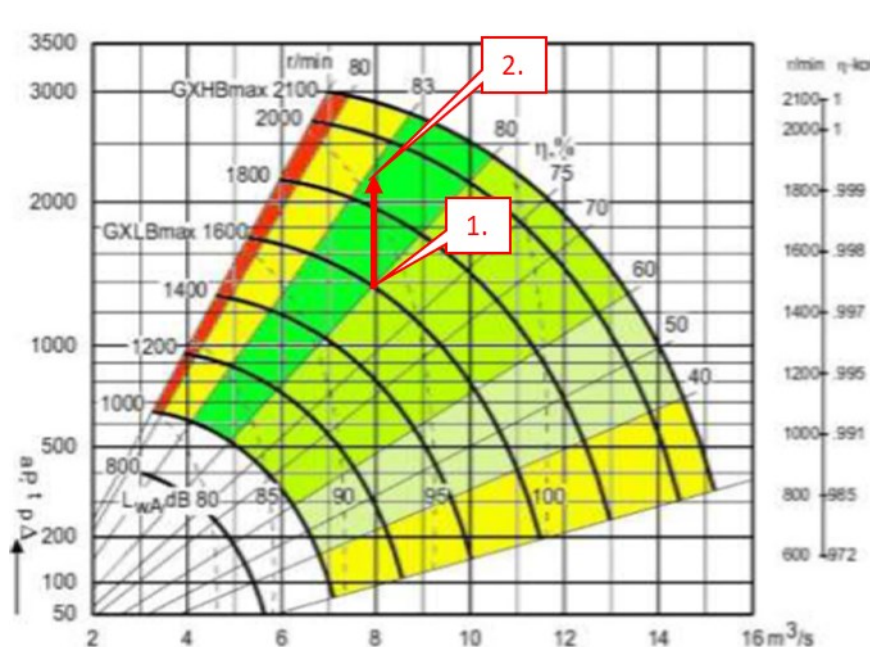
Purkutöiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon haalausreitit, sillä hihnavetoiset puhaltimet ovat suurikokoisia. Etenkin jos kyseessä suuruusluokaltaan yli 3 m<sup>3</sup>/s ilmamäärät. Usein reitit rakennuksen sisältä konehuoneisiin ovat ahtaita ja suunnitteluvaiheessa tulee ottaa huomioon mahdolliset puhallinosien nostotyöt rakennuksen ulkopuolella ja mahdollisesti myös sisäpuolella. Joissain kohteissa ilmastointikoneet on sijoitettu tilojen katonrajaan, jonka seurauksena puhaltimien vaihtamiseen tulee käyttää nostimia tai taljoja.

### 5.4.2 Puhaltimen tai puhaltimien valinta

Kammio puhaltimien uusintatyön ensimmäinen varsinainen suunnitteluvaihe on toimittaa laitevalmistajille kohteessa selvitetty lähtötiedot. Laitevalmistajat tarvitsevat puhallinmitoituksen laatimiseen vähintään ilmamäärän, kokonaispaineentuo-  
tuotot, puhallinkammion

mitat sekä valokuvat nykyisistä puhaltimista ja laitekilvistä. [25] Puhallinmitoituksesta tulee tarkastaa ilmamäärät sekä paineentuotto ja varmistaa, että tehostusvaraa on riittävästi. Vaihtopuhaltimen valinnassa tulee ottaa huomioon mahdolliset myöhemmin tulevat muutostoimenpiteet ilmanvaihtokanavistoon sekä tilojen käyttötarkoituksiin ja ilmamääriin. Lähes aina muutostoimenpiteiden johdosta ilmanvaihtokanaviston ilmamäärät kasvavat, jolloin puhaltimen mitoitus tulee jättää varausta. [1] Puhaltimen mitat on myös syytä käydä tarkasti läpi, jotta varmistutaan, että puhallin tai puhaltimet mahtuvat varmasti puhallinkammioon varoetäisyydet huomioiden. Fyysisiä mittoja kannattaa myös tarkastella haalausreittien varalta, vaikka EC-puhaltimet ovat yleensä aika pieniä ja kompakteja.

Puhallinmitoituksessa puhallin tulee valita siten, että toimintapiste osuu hieman parhaimman hyötysuhdeviivan oikealle puolelle, kuten kuvan 9 kohdassa 1 [1]. Tällöin ilmastointilaitoksen kanavistojen, suodattimien ja pattereiden likaantuessa painehäviö kasvaa hieman, jolloin hyötysuhde paranee kuvan 9 kohdan 2 mukaisesti. Hieman likaantunut ilmastointilaitos vastaa enemmän todellista olosuhdetta. Kaikki valmistajat eivät kuitenkaan esitä puhaltimien ominaiskäyrissä hyötysuhteita. Tällöin hyötysuhdetarkastelut tulee käydä läpi tarkasti laitevalmistajien kanssa. [25]



Kuva 9. Fläktgroup Oy:n valmistaman puhaltimen GXHB ominaiskäyrä, Vihreällä on osoitettu hyvä mitoitusalue. Punaisella osoitettu alue, jolle ei ole suotavaa mitoittaa puhallinta. [22]

### 5.4.3 Puhallinkammion muutokset

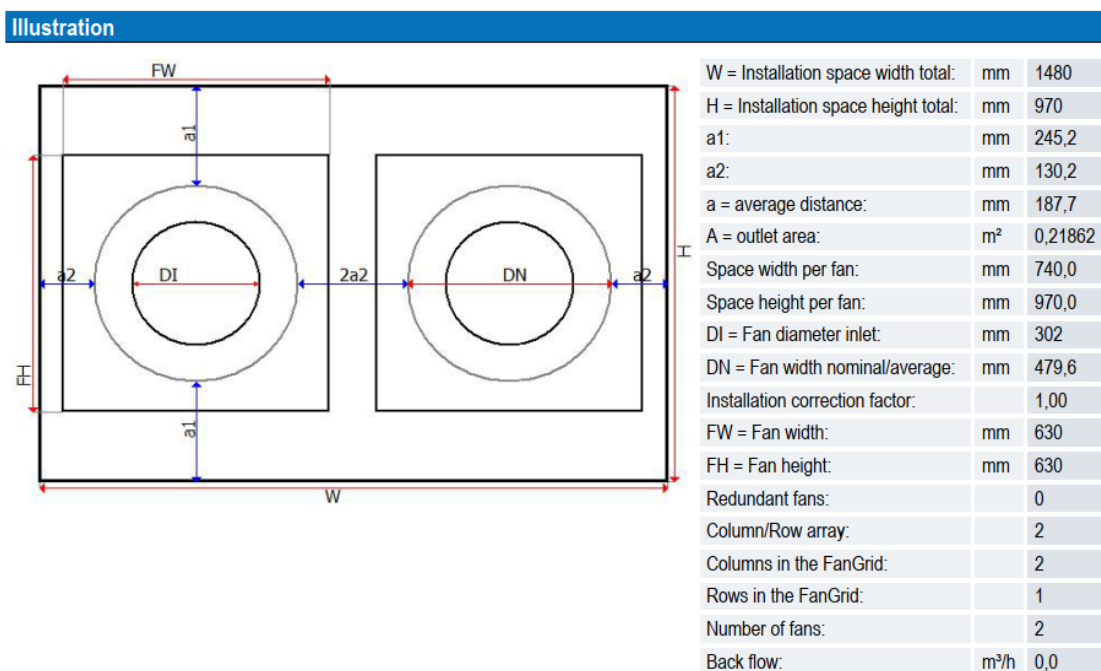
Puhallinuusintojen yhteydessä kammioiden ulos- ja sisäänvirtausaukot avataan mahdollisimman suuriksi. Huonosti tehty aukko kasvattaa järjestelmän painehäviötä merkittävästi, ja sen seurauksena sähkönkulutus nousee, kuten kuvassa 10. Pahimmassa tapauksessa aukon painehäviö on niin suuri, että uusi puhallin ei pääse toimintapisteeseen. Vaikutus sähkönkulutukseen hyvän ja huonon aukon välillä on tuhansia euroja puhaltimen eliniän aikana. Puhallinuusinnan yhteydessä ulosvirtausaukot avataan ja liitokset tehdään jouheviksi. [13]



Kuva 10. Hihnakäyttöinen radiaalipuhallin uusittu EC-puhaltimella, mutta kammio avaamatta. Kammiossa pieni ulosvirtausaukko kasvattaa järjestelmän painehäviötä noin 400 Pa ja nostaa vuosittaisia sähköenergiankustannuksia 2 500 €. [17]

#### 5.4.4 Puhallinseinärakenne

EC-moottoreilla toteutettava puhallinuusinta edellyttää puhallinseinän, joka voi koostua yhdestä tai useammasta puhaltimesta. Suunnitelmiin tulee laatia ohjeistus EC-puhallinseinästä, jossa tulee ilmi puhallinseinän rakenne ja puhaltimien tarkat asennuspaikat. Puhallinseinän rakenne tulee olla riittävän vahva, jotta se kestää puhaltimien tai puhaltimen luoman paine-eron. Väliseinässä on sallittavaa pieni jousto puhaltimen käynnistytksen yhteydessä, sillä puhaltimessa on integroituna moottoriin tuettu etulevy. Etulevyssä ei saa olla yhtään liikettä, sillä 1–2 mm:n liike voi aiheuttaa, että imukartio ottaa kiinni siipipyörään. Väliseinän runko voidaan rakentaa esimerkiksi U- tai neliöprofiiliteräksestä ja tämän jälkeen se pellitetään umpinaiseksi. Rungosta rakennetaan pystytolpat kamion ja katon pohjan väliin. Runkotolppien määrä ja vahvuus on riippuvainen pellityksen vahvuudesta, kuitenkin käytettäessä 1,00–1,50 mm:n peltiä on rungon riittävä asennusväli 400 mm. Pellityksessä on suositeltavaa käyttää samaa materiaalia kuin puhallinkamio tai vaihtoehtoisesti korroosionkestoltaan vastaavaa materiaalia, kuten sinkittyä peltiä. [10]

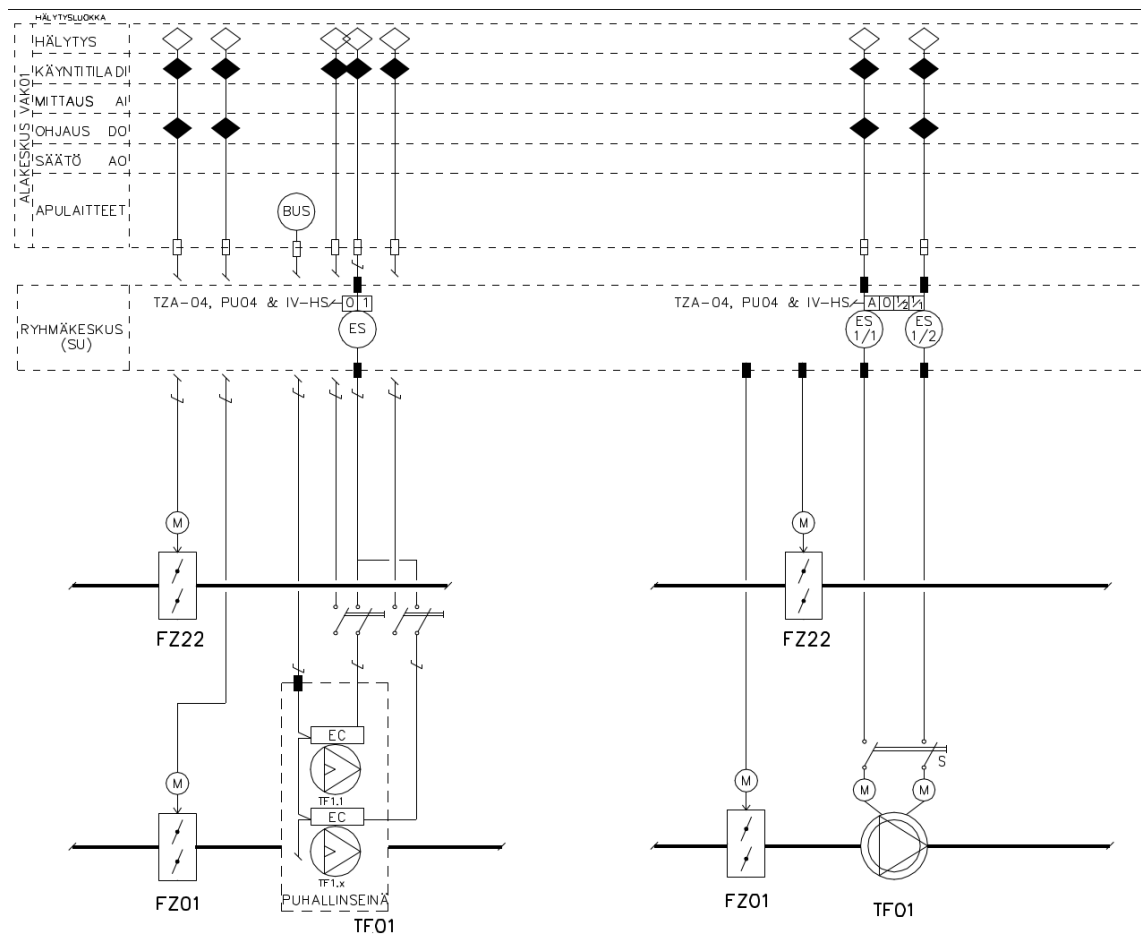


Kuva 11. Puhaltimien kuvitus puhallinseinästä, jossa on kaksi EC-puhallinta [21].

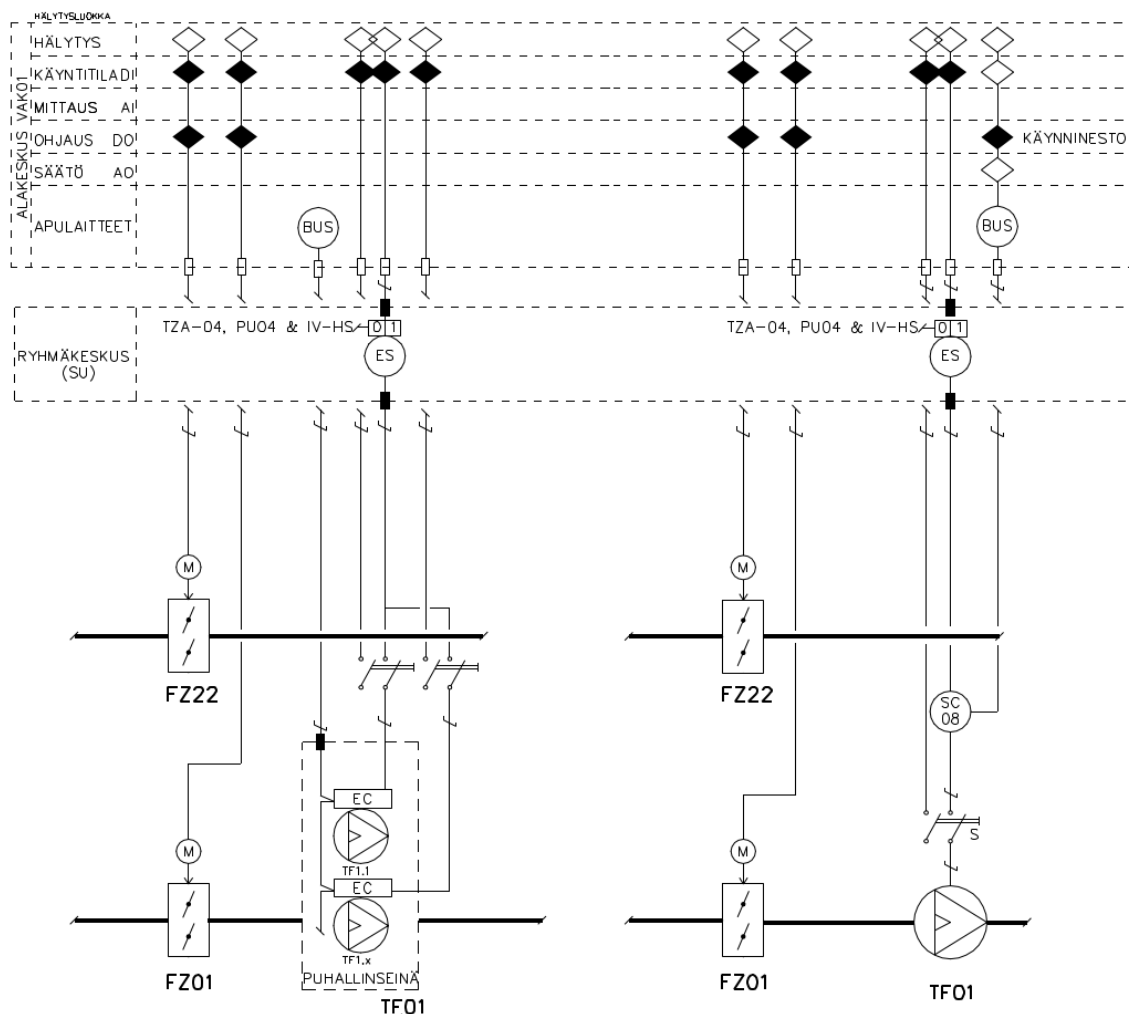
#### 5.4.5 Automaatio- ja sähkösuunnittelu

Automaatio- ja sähkösuunnittelijat laativat omalta osaltaan suunnitelmat puhallinseinän ohjauksista ja sähköistyksistä tapauskohtaisesti, joten kohdekäynneillä selvitettyt lähtötiedot ja uuden EC-puhallinseinän tiedot toimitetaan automaatio- ja sähkösuunnittelijoille. Tyypillisesti vanhoja kaapelointeja ja kaapelisuoja pyritään hyödyntämään asennuksissa, mikäli ne soveltuvat mitoituksellisesti ja teknisesti uusille puhaltimille. Usein EC-puhaltimen asennuksien yhteydessä ryhmäkeskuksen nykyiset nokkakytkimet vaihdetaan kaksiasentoisiksi 0/A ja puhaltimille lisätään turvakytkimet.

Yksi- ja kaksinopeuspuhaltimien uusinnassa on useita eri vaihtoehtoja rakennusautomaation suunnittelulle ja toteutukselle. Tyypillisesti vanhojen puhaltimien ohjausviesti poistetaan ja se korvataan väyläliitynnällä. Väyläliityntä tuodaan puhallinseinän jokaiselle puhaltimelle. [26] Puhaltimien indikointi säilytetään, jotta valvonta-alakeskus tunnistaa sähkönsyötön katkaisun puhaltimilta vikatilanteessa [27]. Käyntilupapiste sen sijaan vastaavasti kuin aiemmin, eli alakeskuksen fyysisenä DO-pisteenä [26]. Mikäli vanhat puhaltimet ovat varustettu taajuusmuuttajilla, puhaltimien ohjausviestit toteutetaan pelkästään väyläliitynnällä ja sulkupeltien peltimoottorit uusitaan VAK-ohjatuiksi [27]. Puhaltimen vikatilaa, moottorin kierrosnopeuden, puhaltimen tehon ja moottorin lämpötilan on oltava luettavissa väylän kautta. (Kuvat 12. ja 13.) Rakennusautomaatiojärjestelmään laaditaan moottorin tehosta kulutus seuranta. Kulutus seuranta voidaan esittää pylväsdiagrammina ja numeerisesti. Kulutus seuranta tehdään tunti-, päivä-, viikko- sekä kuukausikohtaisesti, yksikkönä on kWh. [26]



Kuva 12. Vasemmalla toimintakaavio EC-puhallinseinästä puhaltimen vaihtamisen jälkeen ja oikealla perinteisen kaksinopeuspuhaltimen toimintakaavio ennen puhaltimien vaihtamista.



Kuva 13. Vasemmalla toimintakaavio EC-puhallinseinästä puhaltimen vaihtamisen jälkeen ja oikealla taajuusmuuttajalla varustetun hihnäkäyttöisen puhaltimen toimintakaavio ennen puhaltimien vaihtamista.

Useamman puhaltimen puhallinseinälle yleensä suunnitellaan ohjauskotelo suojausluokaltaan IP65. Ohjauskotelosta syötetään käyttöjännite puhaltimille ja säätimelle. Ohjauskotelossa puhallinseinän pääkytkin ja johdonsuoja-automaatit jokaiselle puhaltimelle erikseen. Puhaltimien kaapeloinnit toteutetaan erillisinä sähkönsyöttöinä ja omilla läpiviennillä. Sähkönsyöttökaapeleina on käytettävä hienosäikeistä tai kumitettua kaapelia. [26]



Kuva 14. Vasemmalla usean EC-puhaltimen puhallinseinä ja oikealla puhaltimien ohjauskeskus [17].

## 5.5 LVIA-suunnitteluasiakirjat puhaltimen vaihtamisesta

### 5.5.1 LVIA-yleisasiakirjat

Asennettavien puhaltimien ja laitteistojen osalta tekniset ominaisuudet, sekä asennustavat kuvataan LVIA-asiakirjoissa. Järjestelmät ja työssä käytettävien asennustapojen tulee noudattaa hyvää rakennustapaa ja TalotekniikkaRYL 2002-asiakirjan vaatimuksia. Kaikkien työssä käytettävien rakennustarvikkeiden tulee täyttää voimassa olevat normit sekä määräykset.

Puhaltimien ja kanavaosien sekä niihin liittyvien laitteistojen tekniset ominaisuudet määritellään teknisessä erittelyssä. Teknisiin ominaisuuksiin sisältyvät materiaalit, yleiset vaatimukset sekä mahdolliset liitostavat.

LVIA-hankkeisiin sisältyy työselostus, jossa määritellään urakan laajuus, työmenetelmät, sekä muut mahdolliset vaatimukset, kuten vaaditut mittaukset tai toimenpiteet. Työselostuksessa on usein lisäksi materiaalivaatimuksia, käyttöönottovaatimuksia sekä laadunvarmistuksia. Työselostuksesta ilmenee urakka kokonaisuudessaan, kuten mitä tehdään, missä tehdään ja miksi. Asiakirjojen pätevyyshierarkiassa työselostus sekä laatuvaatimukset ovat ennen piirustuksia. [16]

### 5.5.2 Ilmastointipiirustukset

Tasopiirustuksessa esitetään ilmastointikoneiden työympäristöt, jossa puhallinuusinnat suoritetaan. Vaihdeettavat puhaltimet osoitetaan selkeästi viiteviivoilla. Ilmastointikoneiden paikantamisen tueksi esitetään rakennuksesta paikannuspiirustus, jossa osoitetaan rasteroimalla tasopiirustuksen alue. Urakoitsijan tueksi tasopiirustukseen sisällytetään ohjeistuksia sekä huomioita työn suorittamista varten. Puhaltimien tilausta helpottamaan suunnitelmiin tulee lisätä EC-puhallinseinädetalji, joka sisältää laitevalmistajan ohjeistuksien mukaiset asennuspaikat seinässä ja seinän rakennusohjeet. Joissakin tapauksissa tulee harkita ilmastointikoneen palvelualuepiirustuksien liittämistä urakkalaskentapakettiin. Palvelualuepiirustuksen avulla urakoitsijan on helppo informoida käyttäjää tiloista, joita ei voi käyttää työn aikana.

### 5.5.3 Laiteluettelo, toimintakaavio ja -selostus

Laiteluetteloissa esitetään konekokonaisuuksien kaikki komponentit: nykyiset sekä hankittavat. Laiteluettelosta tulee ilmi kaikkien komponenttien tekniset arvot sekä mitoituspisteet. Hankittavien puhaltimen osalta laiteluetteloon merkitään käyttöönotettavat suoritusarvot, sähkötehot, varaustehot sekä esimerkkivalmistajat ja mallit. Joissakin tapauksissa ilmanvaihtokokonaisuuksille on tarvetta lisätä uusintojen yhteydessä mittauksia tai muuttaa puhaltimien ohjaustapaa. Laiteluettelossa tulee ilmi, kenen hankintaan sisältyy mikäkin komponentti. Sähkösuunnittelija tarvitsee puhallinuusinnan suunnittelutyössä lähtötiedoksi nykyisen ja uuden puhaltimen sähkötehot sekä vaiheisuudet. Laiteluetteloihin tulee merkitä puhaltimien nimellinen sähkötehotarve. Mikäli kyseessä on usean puhaltimen puhallinseinä, joka koostuu useasta samanlaisesta puhaltimesta, nominaali sähkötehotarve kerrotaan puhaltimien lukumäärällä. Hihnavetoisen oikosulkumoottorin

sähkötehon tarve on aina merkittävästi suurempi kuin EC-moottorin. Tästä syystä lähes aina voidaan käyttää hyödyksi nykyisiä kaapelointeja.

Toimintakaavio sisältää laitteistokokonaisuuksien kenttälaitteet sijoitettuna asennettaville paikoille sekä niiden liittynät ja johdotukset. Kojekokonaisuuksien kytkentäperiaatteet tulee ilmi toimintakaavioista. Digitaaliset kenttälaitteet liitetään yleensä automaatiojärjestelmään valvonta-alakeskuksien kautta hyödyntäen kenttäväylää. Kenttälaitteet voidaan liittää erilaisilla tavoilla automaatiojärjestelmään, mutta tyypillisesti liittynät toteutetaan kaapeloimalla yksittäisesti. Kaapeloidut kenttälaitteet viestivät alakeskukseen jännite tai virtaviesteillä. Nykyään anturointeja ja ohjauksia on toteutettu myös langattomasti, minkä ansiosta vältetään lähes täysin kaapeloinnilta. Toimintakaavioissa uusittavat puhaltimet ja muut komponentit esitetään pilvillä tai rajataan jollakin muulla tavalla, jotta urakoitsija osaa hahmottaa uusittavat tai lisättävät komponentit.

Toimintakaavioiden yhteydessä on toimintaselostus, josta ilmenee kojekokonaisuuden toimintaperiaate sisältäen mm. säätö-, ohjaustavat ja hälytysviestit. Urakoitsijat ohjelmointia varten kenttälaitteille toimintaselostuksien mukaiset asetusarvot sekä parametrit. Ohjelmointien avulla kenttälaitteet toimivat toimintaselostusten mukaisesti. Nykyisten kojekokonaisuuksien selostuksien täydennykset esitetään pilvillä tai rajaamalla jollakin muulla tavalla. [16]

#### 5.5.4 Urakkarajat

Puhallisuusintojen pääurakoitsijana toimii tyypillisesti ilmastointiurakoitsija. Kokonaisurakamallissa ilmastointiurakoitsija hankkii kaikki tarvittavat aliurakoitsijat työn suorittamista varten, kuten automaatiourakoitsijan puhaltimien ja kenttälaitteiden asennusta ja ohjelmointia varten. Vaihtoehtona on myös toteuttaa puhaltimien vaihtaminen erillisurakana, jolloin voidaan saavuttaa laajempi kilpailutus. Puhaltimien sähkötoiden toteuttajana toimii sähköurakoitsija, ja mahdollisten rakennusteknisten töiden suorittamisesta vastaa rakennusurakoitsija. Rakennusurakoitsijaa saatetaan tarvita esimerkiksi telien rakentamisessa, mikäli ilmastointikoneet sijaitsevat korkean tilan katossa. Ilmastointikoneita saatetaan sijoittaa konehuoneiden tai hallimaisten rakennusten kattoon tilanpuutteen takia.

## 5.6 Projektin päätös

Urakan päätteeksi suoritetaan loppukatselmus ja tarkastetaan, että puhaltimet ovat uusittu suunnitelma-asiakirjojen ja hyvien asennustapojen mukaisesti. Urakoitsijan toimitaman mittauspöytäkirjan pohjalta voidaan tehdä laskelmia ja osoittaa, että asetettuihin energiansäästö tavoitteisiin päästiin. Laskelmien avulla voidaan tarvittaessa osoittaa hankkeen takaisinmaksuaika sekä laskea vuosittaiset säästöt energiakuluissa.

## 6 Pohdinta

Rakennusten sähköenergiankulutuksesta noin 30 % kuluu ilmastointiin, ja siitä iso osa johtuu ilmastointikoneiden puhaltimista. EC-moottorilla varustettujen puhaltimien hyötysuhde on noin 30–70 % parempi kuin hihnakäyttöisillä oikosulkumoottoreilla. Täten hihnakäyttöisten puhaltimien vaihtamisella EC-moottorilla varustettuun puhaltimeen voidaan saavuttaa huomattavia säästöjä energiankulutukseen. Puhaltimien tekninen käyttöikä on noin 20–30 vuotta, minkä seurauksena 2000-luvun vaihteessa rakennettujen talojen hihnakäyttöiset puhaltimet ovat saneerauksen tarpeessa.

Puhaltimien vaihtotyö on työmäärältään pieni, mutta hyvään lopputulokseen päästäkseen tulee ottaa huomioon monia asioita. Olennaisten asioiden huomiotta jättämisen seurauksena puhallin ei välttämättä pääse käyttöönotettaviin suoritusarvoihin tai energiansäästöhyötyä ei ole lainkaan. Puhallinuusinnassa tulee osata huomioida nykytilanne sekä mahdollisesti tulevaisuudessa muuttuvat olosuhteet. Tulevaisuuteen tulee varautua jättämällä puhaltimelle tehostamisvaraa suorituskykyyn, mutta liian suuri varaus huonontaa hyötysuhdetta ja kasvattaa hankinta- ja asennuskustannuksia. Hyvin laadituilla suunnitelmilla ja pienten asioiden huomioimisella päästään poikkeuksetta hyvään lopputulokseen.

## Lähteet

- 1 Puhallintekninen käsikirja. 2006. Fläktwoods.
- 2 Puhaltimien vaihto, ohjekirja. 2015. Fläktwoods.
- 3 Puhaltimien vaihto, energiansäästö. 2015. Fläktwoods.
- 4 Puhaltimien retrofit, esitemateriaali. 2019. Ziehl-Abegg Finland Oy.
- 5 EC Plug Fans in AHU applications. 2018. Best practice guide. 1st edition. Verkkoaineisto. ebmpapst. [https://ebmpapst.com.au/media/content/publications\\_downloads/ec\\_upgrades/ebm-papst\\_EC\\_Plug\\_Fans\\_in\\_AHU\\_Applications\\_Best\\_Practice\\_Guide\\_2018-01\\_SECURED.pdf](https://ebmpapst.com.au/media/content/publications_downloads/ec_upgrades/ebm-papst_EC_Plug_Fans_in_AHU_Applications_Best_Practice_Guide_2018-01_SECURED.pdf). Luettu 2.9.2021
- 6 EC plug fan upgrades. 2018. Verkkoaineisto. munters [https://www.munters.com/globalassets/pdf-files/global-services/plug-fan-upgrade-brochure-2018\\_mus\\_w\\_sheratoncase.pdf](https://www.munters.com/globalassets/pdf-files/global-services/plug-fan-upgrade-brochure-2018_mus_w_sheratoncase.pdf). Luettu 10.9.2021
- 7 Ilmanvaihdon energiakorjaus. 2013. Verkkoaineisto. Oulun rakennusvalvonta. <https://www.ouka.fi/documents/486338/20578333/10-Ilmanvaihto-2013.2.12-valmis.pdf/6d8035d4-8496-4fc1-90e4-9a48bd8c13d2>
- 8 Technical Handbook. 2019. Verkkoaineisto. Systemair. [https://www.systemair.com/fileadmin/user\\_upload/systemair-b2b/Support/Technical\\_Handbook\\_EN\\_2019-10\\_E2029.pdf](https://www.systemair.com/fileadmin/user_upload/systemair-b2b/Support/Technical_Handbook_EN_2019-10_E2029.pdf)
- 9 Sähkökäytön mitoitus, Tekninen opas Nro 7. 2001. Verkkoaineisto. ABB [https://library.e.abb.com/public/b11dfe92973be93c1256d2800415027/Tekninen\\_opasnro7.pdf](https://library.e.abb.com/public/b11dfe92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opasnro7.pdf)
- 10 Muhli, Jani. 2012. Ilmanvaihtokoneen puhaltimen uusinta energiatehokkaasti. Insinööriyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 11 Lång, Mikko. 2017. Energiatehokas puhallinmuutos. Insinööriyö. Oulun ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 12 Ilmanvaihtokoneiden EC-puhallinsaneeraukset / ulos- ja sisäänvirtausaukkojen painehäviö. 2021. Fläktgroup Oy. Sähköpostikeskustelu 9.9.2021
- 13 Koskunen, Elisa. 2018. Ilmanvaihtokoneiden puhallinosien modernisointi. Insinööriyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta

- 14 Huhtaniemi, Pekka. 2009. Ilmanvaihtokoneiden puhallinosien modernisointi. Insinööriyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta
- 15 Kinnunen, Harri. 2014. Bioliuotuskasojen ilmastuspuhaltimien vertailu. Insinööriyö. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 16 Leppiniemi Jani. 2012. Lattialämmityksen suunnitteluohjeistus. Insinööriyö. Metropolian ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 17 Sitowise Oy. 2021. Valokuvattu kohdekäynneillä
- 18 EC-puhallin säästää hermoja ja energiaa. 2016. Verkkoaineisto. HH-kiinteistöpalvelut Oy. <https://www.hhkp.fi/yritys/ajankohtaista/2016/01/13/ec-puhallin-saastaa-hermoja-ja-energiaa/> Luettu 15.9.2021.
- 19 Kestomagneettimoottori. 2018. Verkkoaineisto. Solfox. <https://www.solfox.fi/tuotteet/moottorit/kestomagneettimoottorit/> Luettu 1.9.2021
- 20 Taajuusmuuttajien ja moottorikäytön asiantuntija. ABB. Espoo. Keskustelu 17.9.2021
- 21 Puhallinajo. Puhallintyyppi K3G450PB2401. 2021. Ebmpapst.
- 22 Lönnström, Jyrki. 2021. Sisäinen koulutusmateriaali. Fläktgroup Oy.
- 23 Taajuusmuuttajalla saadaan kiinteistöjen ilmastointi säädettyä todellisen tarpeen mukaan. 2018. Zener. <https://www.zener.fi/taajuusmuuttajalla-saadaan-vanhoissakin-kiinteistoissa-ilmastointi-saadettya-todellisen-tarpeen-mukaan/> Luettu 7.8.2021
- 24 Tulamo, Marko. 2021. LVI-osastopäällikkö, Sitowise Oy, Espoo. Keskustelu 7.6.2021
- 25 Lönnström, Jyrki. 2021. Avainasiakastiimin päällikkö, Fläktgroup Oy, Espoo. Keskustelu 16.9.2021
- 26 Kammiopuhaltimen vaihtosuunnitelma. 2019. Ziehl-abegg.
- 27 Automaatioasiantuntija. 2021. Sitowise Oy, Espoo. Keskustelu 28.9.2021
- 28 ECPUHALTIMET. 2008. ebmpapst. [https://www.ebmpapst.fi/fi/dat/media\\_manager/news/8/news-files/Tietoisku\\_\\_Mita\\_erikoista\\_EC-puhaltimissa.pdf](https://www.ebmpapst.fi/fi/dat/media_manager/news/8/news-files/Tietoisku__Mita_erikoista_EC-puhaltimissa.pdf) Luettu 10.8.2021

- 29 Sandberg, Esa. 2016. Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointitekniikka Osa 2. Toinen painos
- 30 How to Read Fan Performance Curves. Verkkoaineisto. Axair Fans. <https://www.axair-fans.co.uk/all-technical-information/read-fan-curves/>. Luettu 18.8.2021
- 31 Understanding the Basic Fan Laws. Verkkoaineisto. Axair fans. <https://www.axair-fans.co.uk/news/understanding-basic-fan-laws/>. Luettu 18.8.2021
- 32 Henkilöstö. 2021. Sitowise Oy, Espoo. Haastattelu 7.7.2021